

Karakteristik Aliran Melintasi Tiga Buah Silinder Sirkular yang Tersusun Secara *Equilateral-triangular* dengan Penambahan *Inlet Disturbance Body* (IDB)

"Studi Kasus Variasi Sudut Pengganggu (θ) : 30° dan 60° pada Jarak antar Silinder (S/D) : 2"

Novi Indah Riani^{1*}, Wawan Aries Widodo²

^{1,2}Laboratorium Mekanika & Mesin-mesin Fluida Jurusan Teknik Mesin
Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember,
Keputih Sukolilo, Surabaya 60111 Indonesia

E-mail: novi13@mhs.me.its.ac.id¹, wawanaries@me.its.ac.id²

Abstract

There are many critical review of the characteristics of the flow in the downstream circular cylinder. One of the basic problems of fluid mechanics is the calculation of the surface area of the flow around the cylinder. Horseshoe vortices, vortex shedding, and local wake of a circular cylinder at low Reynolds numbers and high either been investigated. To reduce the wide wake region can be done by reducing the drag force is generated when the flow of fluid through the bluff body in a channel. The smaller the drag force that can be done by delaying the flow separation. If the early flow separation is delayed, then the resulting drag force will be reduced. One way to reduce the drag force is to add Inlet Disturbance Body (IDB) on the upstream cylinder.

This research was carried out numerically, where the specimen used in the form of three circular cylinder (main bluff body) with diameter (D) of 25 mm are arranged in equilateral-triangular. The distance between the cylinder S/D are used remain: 2, while for the variation used of the angle of inlet disturbance body are 30° and 60° , respectively. Inlet disturbance body cylinder diameter (d) are 4 mm with a gap (δ) of 0.4 mm from the surface of the upstream cylinder at Reynolds number 2.2×10^4 . Numerical modeling done by the method of turbulence viscous 2D-Unsteady RANS and k- ω models Shear Stress Transport.

The results obtained in this study showed that the addition of Inlet Disturbance Body (IDB) in the form of a circular cylinder placed in front of each of the main cylinder causes the difference in the coefficient of pressure (CP), the coefficient of drag (CD), and flow separation. The biggest drag coefficient reduction occurs at an angle of 30° , while at 60° angle of the drag coefficient values have increased, this is because the cylinder is not experiencing reattachment capable of countering the adverse pressure gradient. Flow separation on the IDB (θ) = 60° also not able to inhibit the flow rate passing through the main cylinder, causing the flow after passing through the gap between IDB and the cylinder main body direct separation without deflection in advance.

Key note: Three circular cylinder, equilateral-triangular arrangement, drag coefficient, *inlet disturbance body*, k- ω SST.

PENDAHULUAN

Ada banyak ulasan penting tentang karakteristik aliran di *downstream* silinder sirkular. Salah satu masalah dasar dari mekanika fluida yaitu perhitungan daerah aliran di sekitar permukaan silinder. *Horseshoe vortices*, *vortex shedding*, dan daerah *wake* dari silinder sirkular pada bilangan Reynolds baik rendah maupun tinggi merupakan topik lama yang menjadi perhatian untuk diteliti. Untuk mengurangi daerah *wake* yang lebar dapat dilakukan dengan mengurangi gaya *drag* yang dihasilkan ketika aliran fluida melalui *bluff body* pada sebuah saluran. Gaya *drag* yang semakin kecil didapatkan dengan menunda terjadinya separasi aliran lebih ke belakang. Jika separasi aliran tertunda, maka gaya *drag* yang dihasilkan akan berkurang, sehingga *wake* dibelakang silinder pun semakin kecil. Salah satu cara untuk mengurangi gaya *drag* adalah dengan menambahkan bodi pengganggu pada bagian *upstream*.

Penambahan bodi pengganggu di depan silinder sirkular seperti yang telah dilakukan oleh Alam, dkk [1] menjadi salah satu pilihan untuk dapat mengurangi gaya *drag* pada silinder sirkular. Penambahan bodi pengganggu di depan silinder sirkular dapat menyebabkan aliran fluida menjadi lebih turbulen sehingga diharapkan dapat melawan *adverse pressure gradient* yang terjadi. Aliran turbulen memiliki momentum kecepatan yang cukup besar, sehingga akan menunda titik separasi dan daerah *wake* yang terbentuk akan menjadi lebih kecil.

Widodo dan Hidayat [2] melakukan penelitian terhadap penambahan *Inlet Disturbance Body* (IDB) yang diletakkan dibagian *upstream* silinder sirkular tunggal untuk mengurangi koefisien gaya *drag* dan *pressure drop* pada saluran sempit. Dengan penambahan IDB pada posisi tertentu, koefisien gaya *drag* dan *pressure drop* mengalami penurunan yang cukup signifikan. Penurunan koefisien gaya *drag* dan *pressure drop* yang terbaik terjadi pada sudut *angle* 30° . Penelitian lainnya tentang pengendalian aliran pasif untuk mereduksi gaya *drag*, selain melakukan modifikasi geometri yaitu dengan menempatkan benda pengganggu (*inlet*

disturbance body) yang diletakkan di depan silinder utama dengan posisi tandem. Penelitian tersebut telah dilakukan oleh Tsutsui [3], serta Annisa [4], dimana kedua peneliti tersebut menggunakan silinder sirkular kecil sebagai silinder pengganggu.

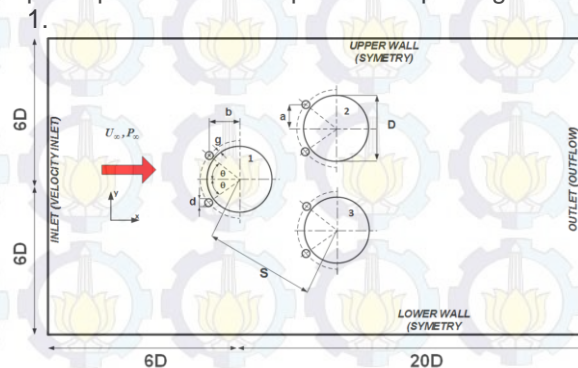
Bantacut [5] juga menunjukkan hasil yang sama pada sudut bodi pengganggu 30° dapat mereduksi gaya *drag* dengan susunan *stagger* untuk tiga buah silinder sirkular yang diberi bodi pengganggu pada bagian *upstream* silinder. Selain itu, Sayers [6] juga melakukan penelitian untuk karakteristik aliran pada tiga buah silinder sirkular yang disusun secara *equidistantly*.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, muncul pemikiran untuk melakukan reduksi *drag* pada tiga buah silinder sirkular yang disusun secara *equilateral-triangular* dengan penambahan dua buah bodi pengganggu berupa silinder sirkular pada masing-masing silinder utama. Variasi dari penelitian ini adalah posisi dari bodi pengganggu dengan sudut θ yang diubah-ubah pada *spacing ratio* (S/D) antar silinder utama tetap.

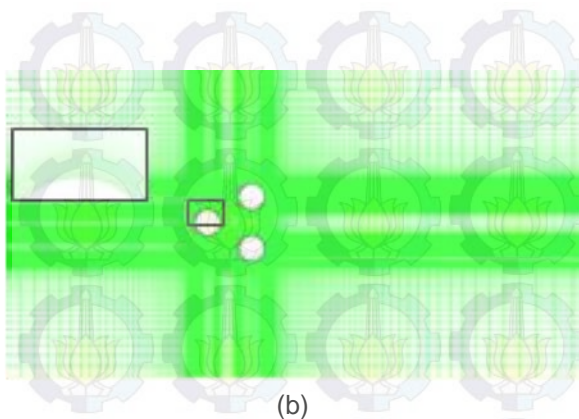
Pengaruh dari bentuk bodi pengganggu dan juga variasi sudut dari bodi pengganggu terhadap tiga buah silinder sirkular *equilateral-triangular* akan diteliti dengan menampilkan koefisien *drag pressure*, koefisien tekanan, dan kontur *velocity pathline* sehingga dapat diketahui fenomena yang terjadi pada silinder sirkular dan dapat mengetahui posisi sudut yang terbaik untuk menghasilkan gaya *drag* yang terkecil.

METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan metode numerik 2 dimensi yang menggunakan *software* CFD komersial. Skema geometri pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.



(a)



Gambar 1. (a) Geometri *set-up* dan kondisi; (b) Batas pemodelan tiga silinder tersusun *equilateral-triangular*

Keterangan:

1. Geometri silinder sirkular dan bodi pengganggu:
 - a. Diameter silinder utama (D) : 25 mm
 - b. Diameter bodi pengganggu (d) : 4 mm
2. g = gap antara IDB dengan silinder utama
3. S = jarak *center to center* antar silinder utama (susunan *staggered*)
4. Bilangan Reynolds yang digunakan adalah 2.2×10^4 .

Tahapan yang dilakukan pada penelitian ini dibagi menjadi tiga tahapan, yaitu:

A. *Pre-processing*

Tahap *pre processing* merupakan tahap awal untuk menganalisa pemodelan CFD. Tahap ini terdiri dari pembuatan geometri, *meshing*, dan penentuan kondisi batas menggunakan GAMBIT.

B. *Processing*

Pada tahap ini menggunakan software CFD komersial Fluent yang dimulai dengan memasukkan data hasil *meshing*. *Turbulence model* pada penelitian ini menggunakan *k- ω SST* dengan temperatur udara sebesar 26.7°C dan viskositas $1.84458 \times 10^{-5} \text{ kg/m}\cdot\text{s}$. Batasan yang terjadi pada aliran yang melewati benda uji berupa *inlet: velocity inlet* sebesar 17 m/s. Solusi yang digunakan dalam simulasi ini adalah *second order* dengan kriteria konvergen sebesar 10^{-3} pada kondisi *unsteady*. Karena *unsteady*, maka ada beberapa nilai yang harus ditambahkan, antara lain *time step size* sebesar 0.000294 sec, *number of time step* sebanyak 600 kali, dan maksimal iterasi yang digunakan yaitu 25 kali. Nilai *time step size* didapatkan dari

perhitungan *Strouhal number*.

C. *Post-processing*

Post processing adalah proses menampilkan hasil serta analisa terhadap hasil yang diperoleh. Adapun data yang akan diambil antara lain distribusi tekanan, koefisien *drag*, visualisasi aliran berupa *pathline velocity* dari tiga silinder yang disusun secara *equilateral* dengan penambahan dan variasi sudut bodi pengganggu.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Fokus dari penelitian ini adalah mengetahui sudut bodi pengganggu yang dapat mereduksi koefisien gaya *drag* paling optimal. Data-data yang ditampilkan berupa koefisien tekanan (C_P), koefisien *drag* (C_D) per silinder, serta visualisasi aliran berupa *pathline velocity*.

Validasi Numerik

Sebelum melakukan *post processing*, perlu dilakukan validasi numerik terhadap *meshing* yang digunakan. Data hasil simulasi numerik dibandingkan dengan data eksperimen yang dilakukan oleh Gu dan Sun [7] dengan tiga buah silinder sirkular yang disusun secara *equilateral-triangular*.

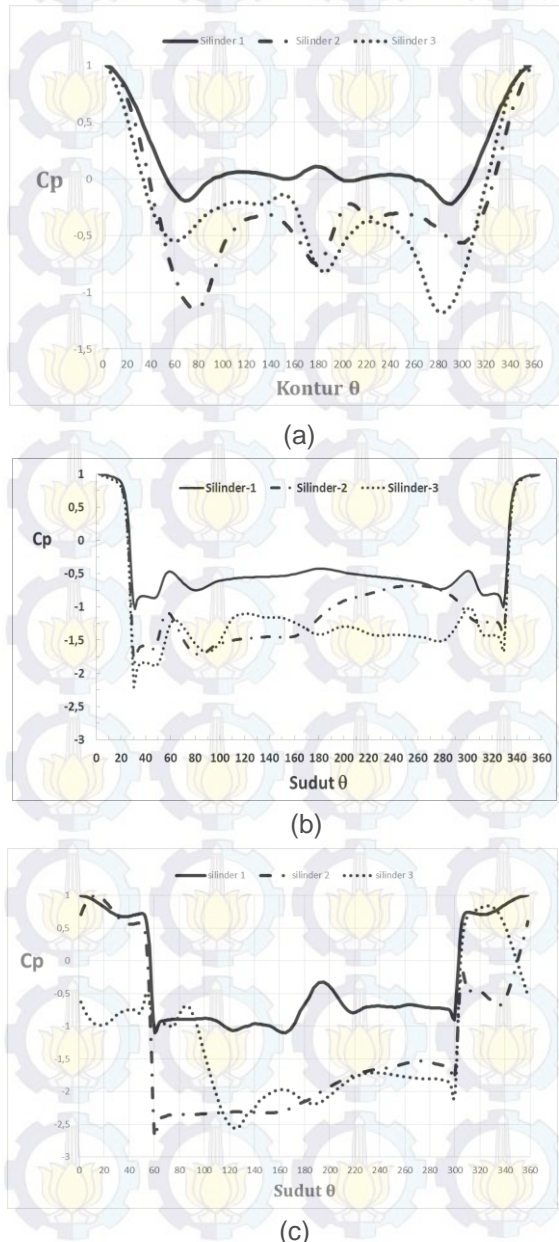
Tabel 1. Nilai C_D Silinder Sirkular

| No. | Mesh | Jumlah Node | Koefisien Drag | | |
|-----|----------|-------------|----------------|---------------|---------------|
| | | | Silinder 1 | Silinder 2 | Silinder 3 |
| 1. | Gu & Sun | - | 0.89 | 0.9 | 1 |
| 2. | A | 22686 | 1.023 (14.9%) | 1.072 (19.1%) | 1.232 (23.2%) |
| 3. | B | 25430 | 0.749 (15.8%) | 1.245 (38.3%) | 1.119 (11.9%) |
| 4. | C | 28174 | 0.881 (1.01%) | 1.14 (26.67%) | 1.106 (10.6%) |
| 5. | D | 28517 | 0.875 (1.69%) | 1.16 (22.4%) | 1.064 (6.4%) |

Berdasarkan nilai eror yang diperoleh pada setiap *meshing* yang dilakukan pada tabel 1, maka dipilih *meshing* D dengan nilai eror terhadap koefisien *drag* pada penelitian Gu dan Sun yang paling terkecil.

A. Koefisien Tekanan (C_p)

Untuk melihat perubahan yang terjadi di sepanjang kontur permukaan silinder, akan dianalisa melalui grafik koefisien tekanan yang ditunjukkan pada gambar 2 berikut:



Gambar 2. Distribusi Koefisien Tekanan (C_p); (a) Tanpa IDB, (b) dengan IDB pada $(\theta) = 30^\circ$, (c) dengan IDB pada $(\theta) = 60^\circ$

Pada gambar 2 (a), silinder 1, 2, dan 3 memiliki tren yang hampir sama. Namun

terdapat perbedaan pada sudut 180° . Untuk ketiga silinder titik stagnasinya tepat berada pada sudut 0° . Setelah titik stagnasi, aliran mengalami percepatan yang ditandai dengan menurunnya grafik koefisien tekanan secara ekstrem hingga aliran memiliki kecepatan maksimum yang ditandai dengan nilai distribusi koefisien tekanan paling rendah. Pada *upper side*, aliran mengalami kecepatan maksimum pada sudut sekitar 60° - 80° , sedangkan pada *lower side*, aliran mengalami kecepatan maksimum pada sudut 280° - 300° . Selanjutnya aliran mengalami perlambatan yang diakibatkan adanya *adverse pressure* yang ditandai peningkatan tekanan.

Sedangkan pada gambar 2 (b), distribusi koefisien tekanan untuk masing-masing silinder yang diberi bodi pengganggu pada sudut 30° memiliki tren yang berbeda-beda. Setelah titik stagnasi, ketiga silinder sama-sama mengalami kecepatan maksimum hingga sudut 30° , namun adanya momentum aliran yang lebih besar dari momentum aliran yang terseparasi dan adanya pengaruh *wake* dari IDB, menyebabkan *shear layer* yang terlepas mengalami *re-attachment* pada permukaan masing-masing silinder. Karena adanya *reattachment*, maka aliran terseparasi lebih ke belakang pada sudut sekitar 80° - 85° .

Pada gambar 2 (c), sudut bodi pengganggu 60° memberikan nilai akselerasi paling maksimal dibandingkan dengan sudut pengganggu 30° dan tanpa IDB. Tapi pada silinder 2 dan silinder 3 pada sudut IDB 60° , letak titik stagnasi sudah bergeser dari 0° . Hal ini dikarenakan adanya pengaruh dari sudut bodi pengganggu pada bagian *upstream* silinder 1 sehingga mempengaruhi aliran yang terjadi pada silinder 2 dan 3.

B. Koefisien Drag (C_D)

Penambahan bodi pengganggu dapat berpengaruh terhadap koefisien *drag* yang dihasilkan. Pada tabel 2, menunjukkan nilai C_D untuk masing-masing silinder. Untuk susunan tiga silinder *equilateral-triangular* tanpa bodi pengganggu, nilai koefisien pada silinder 1 lebih kecil dibandingkan silinder pada bagian *downstream*. Sedangkan untuk susunan silinder dengan sudut bodi pengganggu 30° menunjukkan hasil yang lebih kecil dibandingkan tanpa IDB dan dengan IDB

pada sudut 60° . Dengan demikian dapat dilihat bahwa reduksi koefisien *drag* maksimal terjadi pada sudut 30° .

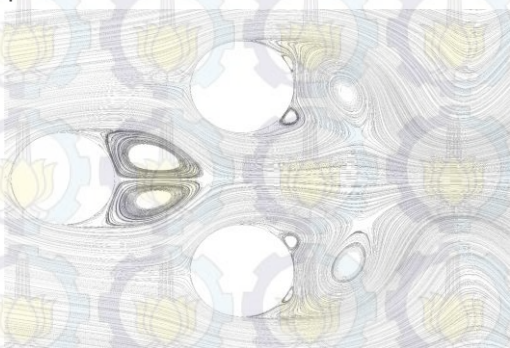
Tabel 2. Nilai Koefisien *Drag* pada θ yang berbeda

| θ° | Koefisien <i>Drag</i> | | |
|----------------|-----------------------|------------|------------|
| | Silinder 1 | Silinder 2 | Silinder 3 |
| 0 | 0,88 | 1,14 | 1,11 |
| 30 | 0,69 | 1,06 | 1,25 |
| 60 | 1,36 | 1,94 | 1,64 |

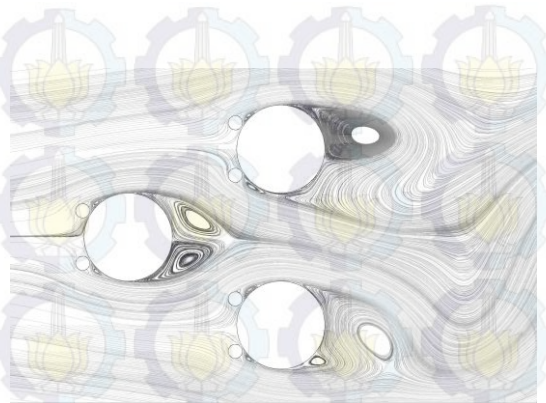
C. Visualisasi Aliran

Pada bagian ini ditampilkan beberapa hasil visualisasi untuk susunan tiga silinder *equilateral-triangular* tanpa IDB, dengan IDB pada (θ) : 30° , dan dengan IDB pada (θ) : 60° .

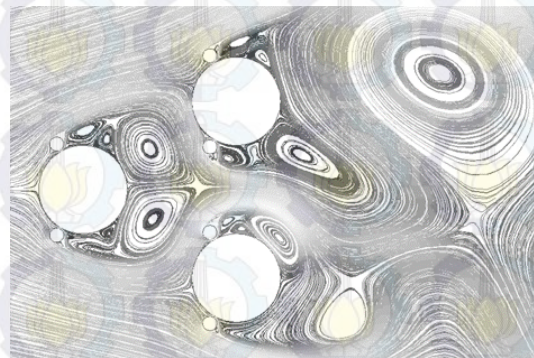
Pada gambar 3 (a) dapat diketahui bahwa aliran yang tanpa diberi bodi pengganggu pada daerah *wake* masih terlihat lebar dibandingkan dengan silinder sirkular yang diberi bodi pengganggu pada sudut 30° , namun *wake* yang lebih besar justru terlihat pada silinder dengan bodi pengganggu 60° . Pada sudut IDB 30° aliran terseparasi lebih ke belakang, sehingga *wake* lebih kecil dibandingkan gambar 3 (a) dan 3 (b). Separasi aliran pada bodi pengganggu 60° tidak mampu menghambat laju aliran yang melewati silinder utama, hal ini menyebabkan aliran setelah melewati celah antara bodi pengganggu dan silinder utama langsung terseparasi tanpa mengalami defleksi terlebih dahulu. Semakin kecilnya daerah *wake*, maka reduksi terhadap gaya *drag* pun semakin besar.



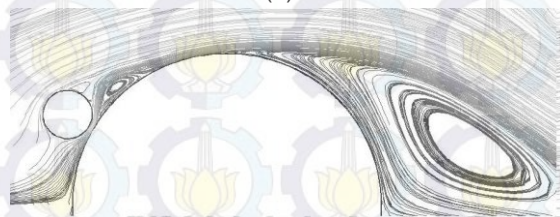
(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3. *Velocity pathline*; (a) tanpa IDB, (b) dengan IDB pada $(\theta) = 30^\circ$, (c) dengan IDB pada $(\theta) = 60^\circ$, (d) pathline pada salah satu IDB $(\theta = 30^\circ)$

KESIMPULAN

Berdasarkan analisa yang telah dilakukan mengenai pengaruh penambahan *Inlet Disturbance Body* (IDB) terhadap reduksi gaya *drag* dengan variasi sudut IDB (θ) : 30° dan 60° pada $Re: 2.2 \times 10^4$, maka:

1. Penambahan bodi pengganggu pada bagian *upstream* masing-masing silinder dapat mereduksi nilai koefisien *drag* dibandingkan tanpa penambahan bodi pengganggu. Penambahan pengganggu $\theta = 30^\circ$ dapat mereduksi koefisien *drag* sebesar 4% sedangkan pada pengganggu

- $\theta = 60^\circ$ menambah koefisien gaya drag sebesar 57%.
- Adanya *reattachment* pada pengganggu 30° dapat menyebabkan aliran terseparasi lebih ke belakang pada sudut sekitar 80° - 85° , hal ini tentunya dapat menyebabkan reduksi nilai koefisien drag pada penambahan pengganggu tersebut dibandingkan dengan susunan tiga silinder sirkular tanpa pengganggu.
 - Aliran yang tanpa diberi bodi pengganggu pada daerah wake masih terlihat lebar dibandingkan dengan silinder sirkular yang diberi bodi pengganggu pada sudut 30° , namun wake yang lebih besar justru terlihat pada silinder dengan bodi pengganggu 60° . Hal ini menyebabkan aliran setelah melewati celah antara bodi pengganggu dan silinder utama langsung terseparasi tanpa mengalami defleksi terlebih dahulu. Semakin kecilnya daerah wake, maka reduksi terhadap gaya drag pun semakin besar.

Jadi, dengan penambahan bodi pengganggu di depan silinder utama dapat mengurangi koefisien gaya drag lebih maksimal lagi, namun pada posisi sudut bodi pengganggu $> 30^\circ$ nilai koefisien gaya drag justru akan meningkat dikarenakan silinder tidak mengalami *reattachment* yang mampu melawan *adverse pressure gradient*. Semakin kecilnya daerah wake, maka reduksi terhadap gaya drag pun semakin besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alam, Md. Mahbub, Sakamoto, H., dan Moriya M. (2003), "*Reduction of Fluid Forces Acting On A Single Circular Cylinder and Two Circular Cylinders by Using Tripping Rods*", Journal of Fluids and Structures, Vol. 18.
- [2] Widodo, W.A., Hidayat Nuzul. (2014), "*Experimental Study of Drag Reduction on Circular Cylinder and Reduction of Pressure Drop in Narrow Channels by Using a Cylinder Disturbance Body*", Applied Mechanics and Materials Vol. 493 (2014) pp 198-203, Switzerland.
- [3] Igarashi, T. (1984). "*Characteristics of the Flow Around Two Circular Cylinders Arranged in Tandem*", Bulletin of the Japan Society of Mechanical Engineers 27, 2380-2387, Japan.
- [4] Annisa, A.D. (2014), "*Studi Eksperimen dan Numerik 2D Unsteady-Rans Pengaruh Inlet Disturbance Body Terhadap Karakteristik Aliran Melintasi Dua Silinder Sirkular yang Tersusun Secara Tandem pada Saluran Sempit (Blockage Ratio 20%)*", Tesis (TM 092501), Surabaya.
- [5] Bantacut. (2014), "*Studi Eksperimen Pengaruh Penggunaan Inlet Disturbance Body (ldb) Terhadap Reduksi Gaya Hambat pada Tiga Silinder Sirkular dengan Susunan Stagger*", Tesis (TM 092501), Surabaya.
- [6] Sayers, A.T., (1986), "*Flow Interference between Three Equispaced Cylinders When Subjected to a Cross Flow*", Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Amsterdam.
- [7] Gu Zhifu, Sun Tianfeng. (2000), "*Classifications of Flow Pattern on Three Circular Cylinders in Equilateral-triangular Arrangements*". Department and Engineering Science, Peking University, Beijing.